

# Ansätze zur Ableitung der menschlichen Zuverlässigkeit im Eisenbahnwesen

Tobias Lindner / Birgit Millius / Daniel Schwencke / Marcus Arenius / Oliver Sträter / Karsten Lemmer

**Im Rahmen des DFG-geförderten Projektes System Mensch-Sicherheit modellieren (SMSmod) – „Sichere und robuste Systemgestaltung durch Modellierung ergonomischer Bedingungen für eine hohe menschliche Zuverlässigkeit“ wird eine Methode zur ausgewogenen Berücksichtigung von Mensch und Technik bei der Systemgestaltung entwickelt. Für die qualitative und quantitative Modellentwicklung und die Analyse von Einflusskriterien wird dabei auf detaillierte Aufgabenanalysen und Ereignisdaten zurückgegriffen. Es wird eine Methode abgeleitet, um die menschliche Zuverlässigkeit so in der Gestaltung der Arbeitssysteme zu berücksichtigen, dass ein sicheres und robustes Gesamtsystem entsteht.**

## 1 Motivation

Jedes System entsteht und funktioniert im Zusammenspiel von Mensch und Technik. Die Erfahrung zeigt, dass die technische Auslegung in der Systemgestaltung gut und effektiv beherrscht werden kann. Schwierigkeiten bestehen in der Beschreibung und Abschätzung des menschlichen Einflusses und der Zuverlässigkeit oder des menschlichen Verhaltens bei Erstellung und Bedienung von Systemen. Aufgrund dieses Ungleichgewichts zwischen technisch orientierter und menschlich orientierter Systemgestaltung kommt es zu einer einseitigen Interpretation von Störungsursachen. So wird beispielsweise bei der Analyse von Arbeitsunfällen vielfach menschliches Fehlverhalten als Ursache attestiert und in dessen Folge eine Verminderung des menschlichen Beitrags gefordert. Dies ist das klassische Vorgehen aus einer technologiezentrierten Sichtweise heraus. Eine detaillierte Prüfung der Ursachen für das menschliche Fehlverhalten zeigt jedoch häufig Schwachstellen in der ergonomischen oder organisatorischen Gestaltung des Systems, die das entsprechende menschliche Verhalten indizieren.

Diese Schwachstellen werden aber im Allgemeinen erst im Betrieb identifiziert. Eine Berücksichtigung organisatorischer oder ergonomischer Aspekte in der Systemgestaltung erfolgt nur ansatzweise oder gar nicht. Langfristig resultiert aus diesem Ungleichgewicht, dass ein Gesamtsystem bezogen auf die ergonomischen und menschlichen Aspekte nicht oder nur ineffektiv optimiert wird. Dieses führt zu einer Verschlechterung der Bedienbarkeit von technischen Systemen [1]. Sheridan spricht hier gar von einer „Versklavung des Menschen“ [16]. Neuere Fehlerforschungen heben deshalb die Bedeutung einer proaktiven Berücksichtigung des Menschen in der Systemgestaltung unter dem Begriff Robustheit (engl. resilience) hervor [7, 9, 10], um ein Gesamtsystem ausgewogen an das menschliche Verhalten anzupassen. Entsprechende Methoden sind international in der Entwicklung; Forschungen im deutschsprachigen Bereich liegen bislang noch nicht vor.

Bisheriger Ansatzpunkt der Berücksichtigung des Menschen in der sicheren Systemgestaltung sind die Methoden der menschlichen Zuverlässigkeitsbewertung (engl. Human Reliability Assessment; HRA). Die entsprechenden Bewertungsmethoden gehen auf Arbeiten aus den 1970er- und 1980er-Jahren zurück [20]. Diese Verfahren beschränken sich auf die Modellierung und Bewertung der anstehenden Arbeitsaufgaben der Menschen und der wirkenden Belastungsgrößen. Eine realistische Umfeldbewertung (wie zum Beispiel mehrere anstehende Arbeitsaufgaben, Entscheidungsfindungen bei unvollständiger Information) findet nicht statt [11, 14]. Auch repräsentieren die entsprechenden Methoden nicht die zugrunde liegenden menschlichen Entscheidungsmechanismen und kognitiven Fähigkeiten (zur Zusammenfassung des Forschungsstandes siehe [18]). Dementsprechend können diese Verfahren die Sicherheit von komplexen Systemen, in denen mehrere Arbeitsaufgaben anstehen und komplexe Entscheidungsfindungen erforderlich sind, nur sehr eingeschränkt bewerten.

Aus der geschilderten Problematik ergibt sich der zentrale, neuartige Ansatz des Vorhabens, eine sichere Systemgestaltung durch eine realistische Modellierung und Repräsentation menschlicher Aspekte zu erreichen. Dies geschieht im Rahmen des im Oktober 2010 gestarteten, DFG-geförderten Projektes System Mensch-Sicherheit modellieren (SMSmod) – „Sichere und robuste Systemgestaltung durch Modellierung ergonomischer Bedingungen für eine hohe menschliche Zuverlässigkeit“. Für die qualitative und quantitative Modellentwicklung und die Analyse von Einflusskriterien wird dabei auf detaillierte Aufgabenanalysen und Ereignisdaten zurückgegriffen. Es wird eine Methode abgeleitet, um die menschliche Zuverlässigkeit so in der Gestaltung der Arbeitssysteme zu berücksichtigen, dass ein sicheres und robustes Gesamtsystem entsteht.

## 2 Die Berücksichtigung des Menschen im Eisenbahnwesen

Die Entwicklung im Eisenbahnwesen ist im Wesentlichen durch technische Weiterentwicklungen geprägt. Durch fortlaufende Automatisierung wird versucht, den Anteil menschlicher Handlungen immer weiter zu reduzieren. Die Annahme, dass der menschliche Einfluss dadurch eliminiert wird, ist jedoch ein Trugschluss. Nur die Art der Interaktion des Menschen mit dem System verändert sich. Die Tätigkeiten haben sich in den vergangenen Jahren von einer ausführenden, physischen zu einer überwachenden, kognitiven Arbeit gewandelt. Diese Charakteristika einer typischen, modernen Mensch-Maschine-Interaktion stellen neue, bislang wenig untersuchte Herausforderungen für die Gestaltung der Arbeitsplätze dar. Es existieren jedoch bisher nur wenige veröffentlichte Unterlagen, die die geänderten Anforderungen adäquat berücksichtigen.

Ein weiteres Problemfeld ist die Berücksichtigung des Menschen bei der Abschätzung der Gesamtsicherheit eines Systems. Klassische HRA-Metho-

den zur Bewertung menschlicher Zuverlässigkeit bieten für die Eisenbahn keinerlei Grundlage [2]. In Großbritannien wurde bereits eine eisenbahnspezifische Methode entwickelt [3], die jedoch wegen ihrer Komplexität und mangels Durchgängigkeit keine Alternative darstellt [5]. Im Bereich des Eisenbahnwesens stellt die Dissertation von Hinzen [6] noch immer den Stand der Technik für die Bewertung der menschlichen Zuverlässigkeit dar. Die Umsetzung erfolgt in der Regel quantitativ. Hinzens Werte sind jedoch statisch und wenig differenziert. Auch bauen sie auf den Erfahrungen im Bereich der Kernkraft der 60er- und 70er-Jahre in den USA auf. Die Relevanz dieser Werte ist zu diskutieren. Darüber hinaus existierende Normen und Regelwerke thematisieren den Einfluss des Menschen oft nur untergeordnet, zum Beispiel in Form einer vereinfachten Abschätzung der menschlichen Gefah-  
renabwehr.

## 3 Veränderungen in den Aufgaben des Fahrdienstleiters und Triebfahrzeugführers

Beim Arbeitsplatz des Triebfahrzeugführers wurden in den vergangenen Jahren zahlreiche physische, aktive Tätigkeiten durch geistige und überwachende Arbeiten ersetzt. Des Weiteren werden immer mehr Informationen, die bisher durch ortsfeste Signale am Fahrweg übertragen wurden, durch elektronische Führer-raumanzeigen ersetzt. Diese Anzeigen sind mit sehr komplexen Überwachungsfunktionen kombiniert. Ferner werden immer mehr schriftliche Unterlagen ebenfalls durch elektronische Anzeigen substituiert. Zusätzlich werden sich durch die europäische Harmonisierung Prozesse und Vordrucke für den manuellen Empfang von Befehlen verkomplizieren. Der Triebfahrzeugführer wird damit künftig an seinem Arbeitsplatz mit einer Vielzahl von komplexen Informationsquellen konfrontiert sein, die sicherheitsrelevante Führungsgrößen enthalten. Diese Veränderungen wurden bisher noch nicht oder nur begrenzt bei der Gestaltung der Arbeitssysteme, Arbeitsabläufe und Bedienoberflächen berücksichtigt.

Der Fahrdienstleiter ist verantwortlich für die Betriebssteuerung. Dies tat er traditionell von einem vor Ort befindlichen Stellwerk aus. Diese Struktur wird im Rahmen des technischen Entwicklungsprozesses zur aktuell stattfindenden Zentralisierung aufgegeben, indem die Fahrdienstleitung großer Bereiche in Betriebszentralen zusammengefasst

wird, die sich in beliebiger Entfernung zum zu steuernden Bereich befinden können und den Fahrdienstleiter von immer mehr aktiven Aufgaben entbinden. Arbeitswissenschaftlich hat dies zur Folge, dass ein betriebsnaher, teilweise mit körperlichen Aufgaben durchmischter Arbeitsplatz durch eine Überwachungstätigkeit an einem Computerbedienplatz ersetzt wird. Von einer zufriedenstellenden Steuerung des störungsfreien Normalbetriebs kann auch bei einer stark zentralisierten Betriebsführung ausgegangen werden. Dennoch sind zwei Problemfelder zu diskutieren. Einerseits sind in Störungsfällen viele der heute in den Regelwerken für die Rückfallebene vorgesehenen Verfahren nicht mehr anwendbar, da diese noch auf die dezentrale Betriebssteuerung ausgerichtet sind und eine zumindest begrenzte Mitwirkung des örtlichen Betriebspersonals erfordern. Die Schaffung neuer, für die zentralisierte Betriebssteuerung optimierter Verfahren ist noch nicht zum Abschluss gekommen. Andererseits muss berücksichtigt werden, dass durch die weitergehende Automatisierung des Regelbetriebs für den Fahrdienstleiter das Störfallmanagement im normalen Arbeitsalltag immer mehr in den Vordergrund tritt und damit auch beispielsweise das Risiko des Out-of-the-loop-Phänomens [1] steigt. Da sich die Häufigkeit der Störungen durch die Zentralisierung nicht notwendigerweise ändert, die Anzahl der Bediener jedoch deutlich zurückgeht, erhöht sich die Häufigkeit der je Bediener zu bearbeitenden Störfälle. Zugleich hat die Komplexität der zu verarbeitenden Informationen erheblich zugenommen. Dadurch besteht Bedarf an Lösungen, z. B. zu einer angemessenen Absicherung von sicherheitsrelevanten Hilfsmaßnahmen in der Rückfallebene.

## 4 Struktur des Projektes

Das Projekt ist auf vier Jahre angelegt, wobei die ersten zwei Jahre bereits von der DFG bewilligt wurden. Der Nachfolgeantrag wird zeitnah gestellt. Ziel der ersten Phase des Projektes ist es, die theoretischen Grundlagen für die Modellbildung zu schaffen. In der zweiten Phase liegt der Schwerpunkt auf der Verifikation der gefundenen Ergebnisse und der Kreuzvalidierung mit den Werten vergleichbarer Industriesektoren.

Die Analyse wird für den Triebfahrzeugführer und den Fahrdienstleiter in definierten Szenarien durchgeführt. Die Tätigkeit beider Personengruppen bietet eine ausreichende Komplexität, so dass

aussagekräftige Ergebnisse zu erwarten sind. Darüber hinaus sind beide Arbeitsplätze einem umfangreichen Wandel unterworfen.

In der ersten Phase des Projektes sind die folgenden Arbeitspakete durchzuführen:

- Detaillierte Aufgabenanalyse für den Triebfahrzeugführer und den Fahrdienstleiter unter Berücksichtigung der daraus resultierenden kognitiven Anforderungen an den Menschen in ausgewählten Szenarien. Da die mögliche Bandbreite von Handlungen sehr groß ist, wurde sowohl für den Triebfahrzeugführer wie auch den Fahrdienstleiter ein betriebliches Szenario definiert, das modelliert wird. Dieses Szenario kann dann ausgeweitet werden, um weitere betriebliche Handlungen zu berücksichtigen.
- Erstellung einer Wirkmechanismen-tabelle; in dieser werden Versagensarten und Versagensauswirkungen der Aufgaben unter organisatorischen, kognitiven und ergonomischen Aspekten analysiert.
- Qualitative und quantitative Modellierung der menschlichen Zuverlässigkeit.
- Anwendungsbeispiele.

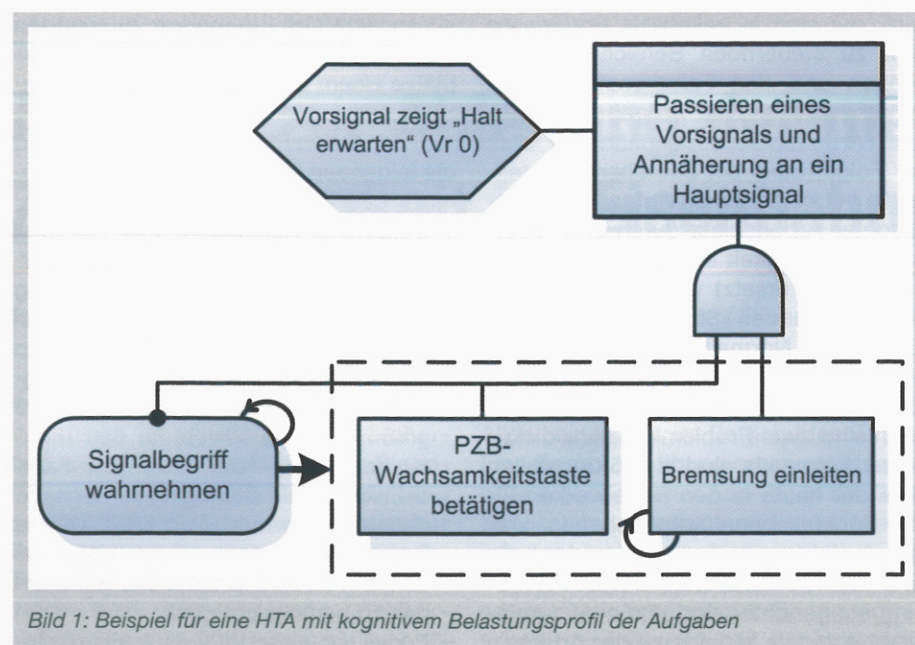
Durch die Deutsche Bahn AG werden Ereignisdaten zur Verfügung gestellt, die als Input zum Beispiel für die menschliche Modellbildung benötigt werden.

## 5 Aufgabenanalyse

Die Aufgabenanalyse dient als Grundlage für die Identifikation der Versagensmöglichkeiten und deren potenziellen Folgen, der Evaluierung der Arbeitsplätze aus eisenbahnergonomischer Sicht sowie der Analyse von spezifischen leistungsbeeinflussenden Faktoren im vorliegenden Sicherheitskontext.

Zunächst werden für den Triebfahrzeugführer und Fahrdienstleiter detaillierte Analysen der betrieblich anfallenden Aufgaben vorgenommen. Als Basis dienen die Regelwerke der Deutsche Bahn AG sowie die betriebliche Experteneinschätzung der im Konsortium vertretenen Einrichtungen. Die Aufgaben werden mithilfe arbeitswissenschaftlicher Methoden der Aufgabenanalyse untersucht, die explizit die Besonderheiten sicherheitsrelevanter Tätigkeiten im Eisenbahnbetrieb berücksichtigen. Dafür wird als Basis die Technik der hierarchischen Aufgabenanalyse mit Interaktionselementen (Team – Hierarchical Task Analysis, HTA) angewendet und als Ergebnis eine funktionale Dekomposition der einzelnen Aufgaben in Baumstruktur





ren Aufgaben) oder parallel (in dynamischer Koordination mit anderen Arbeitsaufgaben) zu bewältigen ist. In Bild 2 sind die für die weiteren Untersuchungen betrachteten kognitiven Kopplungen mit der in der Aufgabenmodellierung angewandten Symbolik sowie zugehörigen Beispielen für den Triebfahrzeugführer dargestellt. Die Symbole finden sich auch in der HTA (Bild 1) wieder.

Diese Klassifikation wird in der weiteren Bearbeitung erlauben, unterschiedliche Aufgaben mit jedoch ähnlichen kognitiven Belastungsprofilen miteinander zu vergleichen und gegebenenfalls zusammenzufassen. Einschlägige Erfahrungen zur kognitiven Aufgabenanalyse [8] und bekannte Ansätze zur Messung kognitiver Beanspruchungen werden berücksichtigt und über eine systemergonomisch orientierte Taxonomie integriert [19].

## 6 Wirkmechanismen-tabelle

Basierend auf der HTA wird für die Aufgaben auf der niedrigsten Detaillierungsebene analysiert, welche Versagen auftreten können und welche Auswirkungen dies haben kann. Diese Analyse ist angelehnt an eine Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). Es wird angestrebt, die Versagensarten weitgehend zu systematisieren. Da zu erwarten ist, dass sich die Auswirkungen bei unterschied-

erarbeitet. In Bild 1 ist ein Ausschnitt aus einer HTA der Aufgaben des Triebfahrzeugführers dargestellt.

Da eine HTA grundsätzlich eine beliebige Detailtiefe erreichen kann, muss im Rahmen des Projektes ein Stopp-Kriterium definiert werden. Dies wird so gewählt, dass die Aufgaben in sich geschlossen sind und bezüglich der kognitiven Kopplungen als eine beurteilbare Einheit betrachtet werden können (siehe Abschnitt 6).

In einem weiteren Schritt werden die zu erwartenden kognitiven Belastungen des Triebfahrzeugführers und des Fahrdienstleiters anhand des HTA-Baums abgeleitet. Somit wird herausgearbeitet, welche Einschränkungen oder Freiheitsgrade dem Systembediener vorliegen. Dies geschieht über eine Zuweisung kognitiver Kopplungen [19] zu den Arbeitsaufgaben. Somit kann beispielsweise festgestellt werden, ob eine Aufgabe sequenziell (in strikter Abfolge zu ande-

Kognitive Kopplung mit HTA-Symbolik	Beispiel	Kognitive Kopplung mit HTA-Symbolik	Beispiel
<b>sequenziell</b> Zeitlich aufeinanderfolgende und voneinander abhängige Aktionen.	1. Aufgabe: Signalbegriff wahrnehmen 2. Aufgabe: PZB-Wachsamkeitstaste betätigen	<b>parallel</b> Es liegt weitgehend in der Verantwortung des Ausführenden, in welcher Abfolge die Aufgaben ausgeführt werden.	1. Aufgabe: PZB-Wachsamkeitstaste betätigen 2. Aufgabe: Geschwindigkeit regeln (z.B. bei Fahrt auf haltzeigendes Signal)
<b>aktiv</b> Es wird aktiv das System beeinflusst.	Geschwindigkeit regeln	<b>monitiv</b> Der Zustand des Systems wird überwacht. Es werden Daten ausgelesen.	Halt zeigendes Signal wahrnehmen
<b>eindimensional</b> Zur Erfüllung der Aufgaben ist eine einzelne Eingangsgröße zu berücksichtigen.	Sifa-Wachsamkeitstaste betätigen	<b>multidimensional</b> Zur Erfüllung der Aufgaben müssen mehrere Eingangsgrößen in Bezug zu einander gesetzt werden.	Bremsung einleiten (z.B. bei Fahrt auf haltzeigendes Signal)
<b>open-loop</b> Die Handlungen zur Erfüllung der Aufgabe sind weitgehend zeitunabhängig.	Wechsel eines Signalbegriffs wahrnehmen	<b>closed-loop (Regelungsaufgabe)</b> Zur Erfüllung der Aufgabe sind zeitkritische Handlungen auf Grund der Berücksichtigung veränderlicher Vorgabegrößen notwendig.	Bremsung einleiten (z.B. bei Fahrt auf halt zeigendes Signal)

Bild 2: Kognitive Kopplungen

Übergreifende Ebene	Hauptaufgabe	Aufgabe	Mögliche Versagen der Aufgaben	Fehler führt immer zu Unfall? *	Fehler führt auch in Verkettung mit anderen Fehlern nie zu einem Unfall? *	Begründung, falls Verkettung mit anderen Fehlern nie zu Unfall führt *	...
Blocksignale passieren	Passieren eines Vorsignals und Annäherung an ein Hauptsignal	Signalbegriff wahrnehmen	Signal wird zu spät wahrgenommen	kein Unfall	Unfall	-	
			Signal wird zu früh wahrgenommen	kein Unfall	Unfall	-	
			Signal wird verwechselt	kein Unfall	Unfall	-	
		PZB-Wachsamkeitstaste betätigen	Taste zu spät betätigt	kein Unfall	kein Unfall	Technische Sicherung (Zwangsbremsung) verhindert Unfall	
			Taste nicht betätigt	kein Unfall	kein Unfall	Technische Sicherung (Zwangsbremsung) verhindert Unfall	
			Taste wird verwechselt	kein Unfall	kein Unfall	Technische Sicherung (Zwangsbremsung) verhindert Unfall	

\*) Annahme, dass das technische System nicht versagt

Bild 3: Ausschnitt Wirkmechanismen-tabelle

lichen Randbedingungen unterscheiden können, ist dies besonders zu vermerken. Das Bild 3 zeigt einen Ausschnitt der Wirkmechanismen-tabelle für Aufgaben des im Bild 1 gezeigten Beispiels der HTA. Dabei sind nur ausgewählte Spalten dargestellt.

Ebenfalls kann in der Tabelle für jede Aufgabe analysiert werden, welche Faktoren die erfolgreiche oder nicht erfolgreiche Aufgabendurchführung beeinflussen. Diese Einflüsse werden als Performance Shaping Factors (PSFs) bezeichnet. Parallel zur Ableitung der PSFs aus der Ereignisdatenauswertung kann durch Literatursauswertung sowie den Interviews mit Triebfahrzeugführern und Fahrdienstleitern eine möglichst vollständige und systematische Zusammenstellung aller PSFs erzeugt werden. Die PSFs sind wichtige Eingangsgrößen für die Modellbildung und dienen dazu, eine aufgabenspezifische Grundzuverlässigkeit gemäß der Situation, in der die Aufgabe ausgeführt wird, zur positiven oder negativen Seite zu korrigieren. Zur Situation gehören konkrete technische Systeme, mit denen der Mensch zur Erfüllung der Aufgabe interagiert, der aktuelle Zustand der Umgebung des Menschen sowie Eigenschaften der konkreten Person, die die Aufgabe ausführt. Eine beispielhafte Aufstellung für den Eisenbahnbetrieb relevanter PSFs wird in Bild 3 gegeben.

## 7 Qualitative und quantitative Modellbildung

Die Erkenntnisse aus der vorhergehenden Bearbeitung werden zur Modellie-

rung des menschlichen Verhaltens in einem qualitativen Modell menschlicher Handlungen zusammengefasst. Als Grundlage dienen insbesondere die bereits herausgearbeiteten Parameter für die menschliche Modellbildung. Das Modell wird die erfassten Einflussfaktoren und Randbedingungen (Kontextfaktoren) menschlichen Verhaltens enthalten, die kognitiven Belastungen und Beanspruchungen sowie das zu erwartende Verhaltensspektrum. In einem zweiten Schritt erfolgt die Anwendung des Modells auf Ereignisdaten, die im Rahmen des Projektes von der Deutsche Bahn AG zur Verfügung gestellt werden.

Basis der Modellierung wird das CAHR-Verfahren („Connectionism Assessment of Human Reliability“: HRA-Methode der zweiten Generation, das heißt der Kontext einer Handlung wird bei der Ermittlung der Zuverlässigkeit berücksichtigt) bilden, welches die Zusammenhänge von Mensch-Maschine-Systemen in einem Datenbankmodell abbildet und die Zusammenfassung aller oben genannten Aspekte erlaubt (multidimensionaler Aspekt der Fehlerentstehung). Wechselwirkungen zwischen den Aspekten können abgebildet und auf beliebigem Abstraktionsgrad ausgewertet werden [17]. Das Modell erlaubt eine qualitative und quantitative Vorhersage und Modellierung menschlichen Verhaltens auf Basis von Betriebserfahrung (Ereignissen, Simulatorstudien, Experten-schätzungen) und hat wesentliche Impulse für die Entwicklung neuerer HRA-Verfahren geleistet [12, 13].

Abschließend wird das Modell des Menschen hinsichtlich der Abbildung des Eisenbahnbetriebs validiert. Der

Schwerpunkt der Prüfung richtet sich auf Verständlichkeit und Objektivität des erstellten Modells sowie auf vollständige und nachvollziehbare Berücksichtigung der identifizierten Einflussparameter. Es wird gezeigt, in welcher Weise das Modell Gültigkeit für die Tätigkeiten im Eisenbahnbetrieb besitzt. Erste qualitative Aussagen zur Gestaltung des Eisenbahnbetriebs und im Besonderen zur Ausgestaltung des Regelwerks werden getroffen.

Eine weitere Validierung erfolgt hinsichtlich der korrekten Abbildung der arbeitswissenschaftlich-technischen Parameter. Es werden erste Kriterien für die Wirksamkeit von Sicherheitsvorkehrungen hinsichtlich der Mensch-Maschine-Interaktion aufgestellt.

Für eine ausgewogene Systemgestaltung sind Abwägungen zwischen verschiedenen Gestaltungslösungen unabdingbar. Demzufolge müssen neben qualitativen auch quantitative Aussagen ermöglicht werden. Hierzu wird auf Basis des qualitativen Modells ein mathematisches Risikomodell erstellt, das quantitative Aussagen zur Wirkung von Einflussfaktoren und Randbedingungen (Kontextfaktoren) menschlichen Verhaltens erlaubt und Bewertungen der kognitiven Belastungen und Beanspruchungen sowie des zu erwartenden Verhaltensspektrums ermöglicht. Kern des quantitativen Ansatzes ist ein statistisch nachweisbarer Zusammenhang von Ereignishäufigkeit und der im Risikomodell enthaltenen Fehlerabschätzung. Der Zusammenhang wurde in vielfältigen Studien empirisch belegt [18]. Er wird in diesem Vorhaben auch von der mathematischen Seite fundiert. Dazu ist vorgesehen, die mathe-



PSF-Gruppe	Faktoren (Beispiele)
Systemgestaltung	Ergonomisches Design Gebrauchstauglichkeit Haptische Rückmeldung
Aufgabengestaltung	Gestaltung von Prozessen / Abläufen Zeitkritische Aufgabe Monotone Handlung
Umweltfaktoren am Beispiel Triebfahrzeugführer	Arbeitsbelastung und Stress Wetterbedingungen Bebauung am Streckenrand
Individuelle Faktoren am Beispiel Triebfahrzeugführer	Streckenkenntnis Vertrautheit mit Führerstand Training / Ausbildung

Bild 4: PSF-Gruppen mit zugehörigen Faktoren

vorliegen und erste qualitative wie quantitative Aussagen getroffen werden können. Eine mögliche Fortführung des Projektes wird auf diese Ergebnisse aufsetzen. Im Mittelpunkt steht dabei vor allem die Validierung der Modelle durch Simulationen sowie Kreuzvalidierung durch Vergleich mit Ergebnissen entsprechender Analysen aus der Luftfahrt und dem Kernkraftbereich. Es ist zu prüfen, inwieweit ermittelte Abhängigkeiten und Zahlenwerte auf andere Bereiche des Eisenbahnbetriebs übertragen werden können.

Ein zweiter Schwerpunkt ist die systematische Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktionen unter Berücksichtigung der natürlichen Informationsverarbeitung des Menschen. Erste Ansätze existieren bereits, sind jedoch bis zu einer Einsatzfähigkeit zur Beurteilung der menschlichen Zuverlässigkeit noch weiterzuentwickeln und zu validieren.

Als dritter Punkt sind die Weiterentwicklung der Risikoanalysemethoden sowie die Trennung von den klassischen, statischen Ansätzen hin zu dynamischeren Methoden zu sehen.

**Anmerkung:** Beteiligte Partner an dem Projekt: Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung (IfEV) der TU Braunschweig (Prof. Pacht), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Verkehrssystemtechnik (Prof. Lemmer), Institut für Arbeitswissenschaft und Prozessmanagement (IfA) der Uni Kassel (Prof. Sträter).

#### LITERATUR

- [1] Bainbridge, L.: The Ironies of Automation. In: Rasmussen, J., Duncan, K. & Leplat, J. (Eds.). New Technology and Human Error. Wiley. London (1987).
- [2] Feldmann, F.; Hammerl, M.; Schwartz, S.: Questioning Human Error Probabilities in Railways. In: IET [Hrsg.]: The 3rd IET International Conference on System Safety (2008).
- [3] Gilroy, J.; Grimes, E.: The development and application of a rail human reliability assessment tool. In: Wilson, J. et al.: People and rail systems – Human factors at the heart of the railway. Ashgate (2007).
- [4] Hallbert, B.; Mosleh, A.; Kolaczowski, A.; Bley, D.; Mahadevan, S.; Lois, E.: The Employment of Empirical Data and Bayesian Methods in Human Reliability Analysis: A Feasibility Study. U.S. Nuclear Regulatory Commission. Washington, D.C. (2006).
- [5] Hickling, N.: An Independent Review of a Rail-specific Human Reliability Assessment Technique for Driving Tasks, Report T270 for the RSSB Research Programme (2007).
- [6] Hinzen, A.: Der Einfluss des menschlichen Fehlers auf die Sicherheit der Eisenbahn. Diss. RWTH Aachen (1993).
- [7] Hollnagel, E.; Nemeth, C.; Dekker, S.: (2008) (Eds.) Resilience Engineering Perspectives: Remaining Sensitive to the Possibility of Failure. Ashgate. Aldershot (2008).

grund steht die Gebrauchstauglichkeit einzelner interaktiver Systeme.

#### 9 Aktueller Stand

Seit dem Projektbeginn im Oktober 2010 wurde die Aufgabenanalyse für den Triebfahrzeugführer bereits abgeschlossen. Die darauf aufbauende Tabelle der Wirkmechanismen ist in der Erstellung. In beiden Fällen hat sich gezeigt, dass die Komplexität des Eisenbahnbetriebs selbst bei einer Beschränkung auf den Normalbetrieb sehr hoch ist. So umfasst die Wirkmechanismen-tabelle zur Aufgabenanalyse des Triebfahrzeugführers zur Zeit bereits knapp 700 Fehlertypen. Insgesamt enthält die zugehörige HTA auf unterster Ebene rund 150 Aufgaben.

Die Analyse der PSFs ist bereits recht weit fortgeschritten. Es wurden über 100 Einflüsse identifiziert, die das Verhalten des Triebfahrzeugführers und seine Interaktion mit der Umwelt oder anderen Personen des Bahnbetriebs beeinflussen. Es ist nun zu prüfen, inwieweit die Wirksamkeit der Faktoren gezeigt werden kann oder in den Ereignisdaten wiederzufinden ist.

#### 10 Ausblick

Im Rahmen der ersten Phase des Projektes sind die durchzuführenden Arbeiten so weit abzuschließen, dass sowohl für den Triebfahrzeugführer als auch für den Fahrdienstleiter belastbare Modelle

matistische Modellierung mit Referenzwerten und dem Bayes'schen Ansatz mathematisch zu hinterlegen [4].

#### 8 Anwendungsbeispiele

In diesem Teil des Projekts wird das klassische Vorgehen der Einbindung des Menschen und die Bewertung seiner Zuverlässigkeit in Sicherheitsanalysen untersucht. Die Anwendungsgrenzen werden aufgezeigt. Anforderungen und Randbedingungen, die an die Einbindung menschlicher Zuverlässigkeit in Risikoanalysen zu stellen sind, werden formuliert. Die Ergebnisse des quantitativen Modells werden ausgewertet und für die Anwendung in Risikoanalysen aufbereitet. Das bisherige Vorgehen im Rahmen einer Risikoanalyse im Eisenbahnwesen wird erweitert, um die Mensch-Maschine-Interaktion adäquat abbilden zu können.

Die Ergebnisse sowohl des qualitativen als auch des quantitativen Risikomodells werden auf die Szenarien angewandt. Es werden Rückschlüsse auf die Gestaltung der Szenarien und deren Einbindung in den Eisenbahnbetrieb gezogen.

Die gewonnenen Erkenntnisse werden bezüglich ihrer Bedeutung für die Gestaltung der Arbeitssysteme im Eisenbahnbetrieb ausgewertet. Die Ergebnisse werden für die Ableitung von Empfehlungen zur Umgestaltung der Mensch-Maschine-Systeme und einzelner Sicherheitsvorkehrungen genutzt. Im Vorder-

- [8] Hollnagel, E.; Suparamaniam, N.: Handbook of Cognitive Task Design. Erlbaum. New Jersey (2003, Ed.).
- [9] Hollnagel, E.; Woods, D.; Leveson, N.: Resilience Engineering - Concepts and Precepts. Ashgate. Aldershot. ISBN 0754646416 (2005).
- [10] Leveson, N.: System Safety Engineering: Back To The Future. Massachusetts Institute of Technology. Boston (2002).
- [11] OECD-CSNI: Technical Opinion Papers No. 4 – Human Reliability Analysis in Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants. OECD NEA No. 5068.

- OECD-NEA. Paris. ISBN 92-64-02157-4 (2004).
- [12] OECD-NEA: Building the New HRA. Errors of Commission – From Research to Application. OECD/NEA. & NRC. Washington (2001).
- [13] OECD-NEA: Building the new HRA. OECD Workshop on strengthening the link between HRA and data. GRS. Köln (2002).
- [14] Reason, J.: Human Error. Cambridge University Press. Cambridge (1990).
- [15] Schwartz, S.; Hammerl, M.; Feldmann, F.: Quantifizierung menschlicher Fehler für Risikoanalysen. SIGNAL+DRAHT, 2009, Heft 6.

- [16] Sheridan, T.B.: Human and automation: System design and research issues. John Wiley & Sons. New York. ISBN 0-471-23428-1 (2002).
- [17] Sträter, O.: Beurteilung der menschlichen Zuverlässigkeit auf der Basis von Betriebserfahrung. GRS-138. GRS. Köln/Germany (1997).
- [18] Sträter, O.: Human Reliability Analysis: Data Issues and Errors of Commission. Reliability Engineering and System Safety. Vol. 83, No. 2 February 2004. Elsevier (2004; Ed.).
- [19] Sträter, O.; Bubba, H.: Design of Systems in Settings with Remote Access to Cognitive Performance. In: Hollnagel, E.; Suparamaniam, N. (Ed) Handbook of Cognitive Task Design. Lawrence Erlbaum. Hillsdale. p. 333ff (2003).
- [20] Swain; Guttman: Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications, NUREG/CR-1278, Washington DC, 1983.

#### Die Autoren

Dipl.-Ing. Tobias Lindner  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Institut für Eisenbahnwesen und  
Verkehrssicherung (IfEV) der  
TU Braunschweig  
Anschrift: Pockelsstraße 3,  
D-38106 Braunschweig  
E-Mail: tobias.lindner@tu-bs.de

Marcus Arenius  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Bereich Systemische Gestaltung,  
Fachgebiet Arbeits- und Organisations-  
psychologie, Universität Kassel  
Anschrift: Heinrich-Plett-Straße 40,  
D-34132 Kassel  
E-Mail: arenius@uni-kassel.de

Dr. Birgit Milius  
Akademische Rätin  
Institut für Eisenbahnwesen und  
Verkehrssicherung (IfEV) der  
TU Braunschweig  
Anschrift: Pockelsstraße 3,  
D-38106 Braunschweig  
E-Mail: b.milius@tu-bs.de

Prof. Dr. habil. Oliver Sträter  
Fachgebiet Arbeits- und Organisations-  
psychologie, Universität Kassel  
Anschrift: Heinrich-Plett-Straße 40,  
D-34132 Kassel  
E-Mail: straeter@uni-kassel.de

Dipl.-Inform. Daniel Schwencke  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Institut für Verkehrssystemtechnik  
des Deutschen Zentrums für Luft- und  
Raumfahrt (DLR) Braunschweig  
Anschrift: Lilienthalplatz 7,  
D-38108 Braunschweig  
E-Mail: daniel.schwencke@dlr.de

Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer  
Leiter des Instituts für Verkehrssystem-  
technik des Deutschen Zentrums für  
Luft- und Raumfahrt (DLR) Braunschweig  
und Berlin  
Anschrift: Lilienthalplatz 7,  
D-38108 Braunschweig  
E-Mail: karsten.lemmer@dlr.de

#### ■ SUMMARY

**A new approach for the assessment of the human reliability in the rail sector**

As part of the DFG-funded project System Human – Safety (SMSmod) – “Safe and robust system design by modelling ergonomic conditions for a high human reliability”, a method for system development will be proposed which allows a balanced view of human as well as technical aspects. The qualitative and quantitative model development and the derivation of performance shaping factors will be based on detailed human task analyses and accident data. The new method aims at taking human reliability into account in a much more detailed way than it is done today, so that a safe and robust system is being realized.



## „Europäische Bahnen

– alle Fakten immer schnell zur Hand! –

**Michael Heißenberg**

Geschäftsführer APRIXON Information Services GmbH

„Europäische Bahnen unterstützt uns im Vertrieb unseres Softwaresystems ECHO. Es verbessert unsere Kenntnisse der Strukturen und Ausrichtungen der Marktteilnehmer. Besonders gut gefällt mir die einheitliche Struktur für die Unternehmen, so dass die Fakten schnell zur Hand sind.“



Bestellen Sie jetzt unter [www.eurailpress.de/eb](http://www.eurailpress.de/eb)

DVV Media Group GmbH | Eurailpress • Nordkanalstr. 36 • 20097 Hamburg • Germany • Telefon: +49 40/237 14-440 • E-Mail: buch@dvvmmedia.com

